
Gens, Wolfgang :

Die Bestimmung der regelungstechnischen Parameter einer fremderregten Gleichstromnebenschlußmaschine ohne Kenntnis der Übergangsfunktion und des Frequenzganges

Zuerst erschienen in:

Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Elektrotechnik
Ilmenau 6 (1960), Nr. 2, S. 137-141

Fremderregte Gleichstromnebschlußmaschinen werden auf Grund ihrer guten regelungstechnischen Eigenschaften vielfach zum Aufbau hochwertiger Regelantriebe verwendet. Sie bilden in solchen Anlagen einen wichtigen Bestandteil der Regelstrecke.

Soll sich ein Regelkreis statisch und dynamisch optimal verhalten, müssen Regler und Regelstrecke mit ihren Parametern aufeinander abgestimmt sein. Da in den meisten Fällen die Parameter des Reglers nach denen der Regelstrecke gewählt werden, müssen die letzteren bekannt sein. Im vorliegenden Aufsatz werden Meßmethoden behandelt, mit deren Hilfe die regelungstechnischen Parameter einer fremderregten Gleichstrombenschlußmaschine relativ einfach zu ermitteln sind.

Die Ableitung hat den Zweck, die Verknüpfung der einzelnen Kennwerte und ihren Einfluß auf das dynamische Verhalten der Maschine deutlich zu machen.

The diagram shows an electrical circuit. On the left, a vertical line represents a power source with voltage U_A and current J_A flowing downwards. This is connected to a motor, represented by a circle with the letter 'M' inside. To the left of the motor is a rheostat, represented by a variable resistor symbol with current M_A flowing through it. The motor is connected to a load, represented by a rectangle with current J_E flowing upwards. The load has an inductance L_E and resistance R_E . The voltage across the load is U_E . The current entering the motor is A/G . The current leaving the motor is Φ_A . The current entering the load is K and the current leaving is J . The current entering the load is L_A and the current leaving is B/H .

und unter Berücksichtigung der folgenden Voraussetzungen:

Vernachlässigung der Strom- und Drehzahlabhängigkeit des Bürstenübergangswiderstandes, der Stromabhängigkeit des Bürstenwiderstandes und des Einflusses der Temperatur ϑ auf die beiden genannten Widerstände und den Widerstand der Wicklungen.

Damit gilt:

$$R_A = f(I_A; \Omega; \vartheta) = \text{const.},$$

$$R_E = t(I_E; \vartheta) = \text{const.}$$

Vernachlässigung der Sättigung, der Ankerrückwirkung und der Wirbelströme, d. h.,

$$L_A = f(I_A; I_E) = \text{const.},$$

$$L_E = f(I_E; I_A) = \text{const.}$$

Leerlauf der Maschine und Vernachlässigung der Reibungsverluste, d. h.,

$$M_{WR} = f(\Omega) = 0.$$

Aus dem Ersatzschaltbild (Bild 1) und unter Berücksichtigung der gemachten Voraussetzungen folgt:

In Gleichung (3) ist M_B das Beschleunigungsmoment. Ferner gelten folgende Grundgleichungen:

$$\Phi_E = c_3 I_E. \quad (7)$$

In Gleichung (6) ist Θ das Trägheitsmoment des Ankers.

Wenn man die Gleichungen (1) bis (3) mit den Gleichungen (4) bis (7) kombiniert, so erhält man:

$$c_2 \Phi_E M_A = \Theta \frac{d\omega}{dt}. \quad (10)$$

Um die Gleichungen (8) bis (10) von der Baugröße der Maschine unabhängig zu machen, werden die folgenden Größen normiert. Sie lauten:

$$u_E = \frac{U_E}{U_{E0}}, \varphi_E = \frac{\Phi_E}{\Phi_{E0}}, i_A = \frac{I_A}{I_{A0}}, m_A = \frac{M_A}{M_{A0}},$$

$$u_A = \frac{U_A}{U_{A0}} \text{ und } \omega = n = \frac{\Omega}{\Omega_0},$$

da sich Drehzahl und Winkelgeschwindigkeit nur um einen konstanten Faktor unterscheiden.

Als Bezugsgrößen werden verwendet:

 U_{E0} — Nennerregerspannung,

Φ_{E_0} — Erregerfluß bei Nennerregerspannung bzw.
bei Nennerregerstrom,

Ω_0 — Winkelgeschwindigkeit für $M_W = 0$,
Nennerregerspannung und Nennanker-
spannung,

I_{A0} — Ankerstrom bei $\Omega = 0$ und Nennanker-
spannung,

M_{A_0} — Ankermoment bei $\Omega = 0$, Nennerregerspannung und Nennankerspannung,

 U_{A0} — Nennankerspannung

1.3 Die Übertragungsfunktion des Erregerflusses

Setzt man in Gleichung (8) die entsprechenden normierten Größen ein, so erhält man:

$$c_3 u_E U_{E0} = \left(R_E \varphi_E + L_E \frac{d\varphi_E}{dt} \right) \Phi_{E0} \quad (11)$$

$$u_E = \varphi_E + T_E \frac{d\varphi_E}{dt}.$$

Dabei sind folgende Gleichungen

$$T_E = \frac{L_E}{R_E},$$

$$U_{E0} = I_{E0} R_E,$$

$$\Phi_{E0} = c_3 I_{E0}$$

zu berücksichtigen.

Laplacetransformiert lautet Gleichung (11):

$$\bar{u}_E = \bar{\varphi}_E + T_E [p \bar{\varphi}_E - \varphi_E(+0)],$$

$$\bar{\varphi}_E = \frac{\bar{u}_E}{1 + T_E p - T_E \varphi_E(+0)}. \quad (11a)$$

Die Gleichung (11a) besagt, daß der Erregerfluß mit einer Verzögerung erster Ordnung der Erregerspannung folgt.

Die Größe der Verzögerung wird durch T_E bestimmt.

1.4 Die Übertragungsfunktion von Drehzahl und Ankerstrom

Die in normierten Größen ausgedrückte Gleichung (9) lautet:

$$u_A U_{A0} = c_1 \varphi_E \Phi_{E0} \omega \Omega_0 + \left(R_A i_A + L_A \frac{di_A}{dt} \right) I_{A0},$$

$$u_A \frac{U_{A0}}{I_{A0}} = \frac{c_1 \Phi_{E0} \Omega_0}{I_{A0}} \varphi_E \omega + R_A i_A + L_A \frac{di_A}{dt},$$

$$u_A = \varphi_E \omega + i_A + T_A \frac{di_A}{dt}. \quad (12)$$

Dabei sind folgende Gleichungen zu beachten:

$$\frac{U_{A0}}{I_{A0}} = R_A; \frac{L_A}{R_A} = T_A; U_{A0} = E_{A0} = c_1 \Phi_{E0} \Omega_0$$

bei $I_A = 0$.

Mit normierten Größen lautet die Gleichung (10):

$$c_2 \Phi_{E0} \varphi_E i_A I_{A0} = \Theta \Omega_0 \frac{d\omega}{dt},$$

$$i_A \varphi_E = \frac{\Theta \Omega_0}{c_2 \Phi_{E0} I_{A0}} \frac{d\omega}{dt},$$

$$i_A \varphi_E = T_m \frac{d\omega}{dt}. \quad (13)$$

Es ist zu beachten, daß hierbei gilt:

$$M_{A0} = c_2 \Phi_{E0} I_{A0}; T_m = \frac{\Theta \Omega_0}{M_{A0}}.$$

Setzt man Gleichung (13) in Gleichung (12) ein, so folgt:

$$u_A = \varphi_E \omega + \frac{T_m}{\varphi_E} \frac{d\omega}{dt} + \frac{T_A T_m}{\varphi_E} \frac{d^2 \omega}{dt^2}, \quad (14)$$

$$u_A = \frac{\varphi_E^2}{T_m} \int i_A dt + i_A + T_A \frac{di_A}{dt}. \quad (15)$$

Wird auf Gleichung (14) und (15) die Laplacetransformation angewandt, so erhält man:

$$\bar{u}_A = \varphi_E \bar{\omega} + \frac{T_m}{\varphi_E} [p \bar{\omega} + \omega(+0)]$$

$$+ \frac{T_A T_m}{\varphi_E} [p^2 \bar{\omega} - p \omega(+0) - \omega'(+0)], \quad (14a)$$

$$u_A(+0) + p \bar{u}_A = \frac{\varphi_E^2}{T_m} i_A + i_A p - i_A(+0)$$

$$+ T_A [p^2 i_A - p i_A(+0) - i_A'(+0)]. \quad (15a)$$

Die Gleichung (14a) und (15a) gelten für $\varphi_E = \text{const.}$ Sie besagen, daß der Ankerstrom und die Drehzahl mit einer Verzögerung zweiter Ordnung der Ankerspannung folgen. Die Größe der Verzögerung wird durch T_A und T_m bestimmt.

1.5 Definition der Zeitkonstanten

Die Größen T_E , T_A und T_m sind die gesuchten regelungstechnischen Parameter der fremderregten Gleichstromnebenschlußmaschine. Sie sind wie folgt definiert:

$$T_E = \frac{L_E}{R_E} \quad \text{Erregerzeitkonstante,} \quad (16)$$

$$T_A = \frac{L_A}{R_A} \quad \text{Ankerzeitkonstante,} \quad (17)$$

$$T_m = \frac{\Theta \Omega_0}{M_{A0}} \quad \text{mechanische Zeitkonstante.} \quad (18)$$

2. Methoden zur Ermittlung der Zeitkonstanten

Es besteht u. a. die Möglichkeit, die Zeitkonstanten unmittelbar aus experimentell aufgenommenen Übergangsfunktionen oder der Darstellung $\log |F| = f(\log \omega)$ des experimentell aufgenommenen Frequenzganges zu ermitteln. Die experimentelle Aufnahme des Frequenzganges oder der Übergangsfunktion ist insbesondere bei großen Maschinen technisch nicht einfach. Mit weit weniger Aufwand sind dagegen die Induktivitäten, Widerstände und das Schwungmoment zu messen. Aus den Meßergebnissen lassen sich dann leicht die gesuchten Zeitkonstanten berechnen.

2.1 Zusammenstellung der Methoden zur Ermittlung der Betriebswiderstände, der Induktivitäten und des Trägheitsmoments

2.1.1 Methoden zur Bestimmung der Ohmschen Betriebswiderstände

Zur Messung des Ohmschen Widerstands der Erregerwicklung R_E eignen sich die bekannten Brückenschaltungen nach *Wheatstone* und *Thomson*, die Stromspannungsmessung und die vergleichende Widerstandsmessung. Die entsprechenden Schaltungen werden als bekannt vorausgesetzt.

Die Messung des Ankerkreiswiderstandes R_A ist mit den angegebenen Methoden nur angenähert möglich. Das liegt darin begründet, daß R_A laut Gleichung (19)

$$R_A = R_B + R_U + R_W + R_A' \quad (19)$$

eine Reihenschaltung von Einzelwiderständen ist.

Darin bedeuten:

R_B — Widerstand der Kohlebürsten; er ist von deren Zusammensetzung abhängig und fällt mit wachsendem Strom;

R_U — Übergangswiderstand zwischen Kohlebürsten und Kommutator; er ist von der Bürstensorte abhängig. Ferner wird er beeinflusst von der Flächenpressung zwischen Kohlebürste und Kommutator, der Umfangsgeschwindigkeit und dem Zustand der Lauffläche des Kommutators. Die Güte des Einschliffs der Bürsten, die Temperatur und die allgemeinen Betriebsbedingungen sind ebenfalls von Bedeutung.

R_W — Widerstand der Wendepolwicklung;

R_A' — Widerstand der Ankerleiter einschließlich der Kommutatorlamellen.

Wegen des Verhaltens von R_B und R_U ist R_A eine Funktion der Drehzahl und des Ankerstromes.

Die üblichen Methoden zur Bestimmung des Ankerkreiswiderstandes sind fast ausschließlich zur Bestimmung des Wirkungsgrades von Gleichstrommaschinen entwickelt worden. Man begnügt sich hier mit der Messung der Wicklungswiderstände. Der Spannungsabfall über den Bürsten- und Bürstenübergangswiderständen wird als unabhängig von der Belastung, also als konstant angenommen.

Diese Methode erlaubt nicht die exakte Bestimmung des Ankerkreiswiderstandes, wie sie für grundlegende Betrachtungen notwendig ist. Er wird zweckmäßiger mit Hilfe des Leerlauf- und Belastungsversuchs im Generatorbetrieb bestimmt. Aus der Gleichung der Ankerspannung im Generatorbetrieb

$$U_A = E_A - I_A R_A \quad (20)$$

erhält man die Bestimmungsgleichung für den Ankerkreiswiderstand bei annähernd geradliniger Kommutierung. Sie lautet:

$$R_A = \frac{E_A - \dot{U}_A}{I_A} \quad \text{bei } \Omega = \text{const.} \quad (21)$$

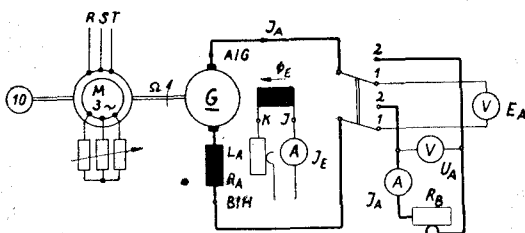


Bild 2

Die Messung von E_A , I_A und U_A wird an Hand der Schaltungsanordnung auf Bild 2 durchgeführt. Nach Einstellung der gewünschten Drehzahl Ω und des Erregerstromes I_E ist in Schalterstellung 1 die Spannung E_A abzulesen. Darauf werden in Schalterstellung 2 der Belastungswiderstand R_B zugeschaltet, die Drehzahl auf den Wert Ω nachgestellt und der Ankerstrom I_A sowie und die Ankerspannung U_A abgelesen. Auf diese Weise erreicht man, daß sich der Erregerkreis im Leerlauf und bei Belastung im annähernd gleichen magnetischen Zustand befindet.

Bei Maschinen ohne Kompensationswicklung verursacht das Auftreten der Ankerrückwirkung einen Methodenfehler. Es wird $E_A = f(I_E)$ bei $\Omega = \Omega_1$ im Leerlauf und $U_A = f(I_A)$ bei $\Omega = \Omega_1$ bei Belastung gemessen. Aber nur bei der letzteren Messung kann sich die Ankerrückwirkung auf die Meßergebnisse auswirken. Aus diesem Grunde wird von dem Punkt an, wo die Ankerrückwirkung auftritt, ein zu großer Ankerkreiswiderstand ermittelt.

In den Fällen, wo die Konstruktionsdaten der zu untersuchenden Maschine vorliegen, kann die Verminderung von E_A durch die Ankerrückwirkung nach Nürnberg [1] berechnet werden. Wird die Verminderung mit ΔE_A bezeichnet, dann lautet die Bestimmungsgleichung für R_A :

$$R_A = \frac{E_A - \Delta E_A - U_A}{I_A} \quad (22)$$

Der Ankerkreiswiderstand kann ferner angenähert durch eine Stromspannungsmessung ermittelt werden.

Zu diesem Zweck wird der Anker festgebremst und an die Ankerklemmen GA—HB eine stellbare Gleichspannung gelegt. Aus dem Spannungsabfall über den Ankerklemmen U_A und dem Ankerstrom I_A ergibt sich der Ankerkreiswiderstand R_A zu:

$$R_A = \frac{U_A}{I_A} \quad (23)$$

Es ist zweckmäßig, diese Messung bei verschiedenen Ankerstellungen durchzuführen. Aus den Meßwerten, die jeweils bei gleichem Ankerstrom aufgenommen werden, ist ein Mittelwert zu bilden. Bei dieser Messung wird die Drehzahlabhängigkeit des Bürstenübergangswiderstandes vernachlässigt. Diese Methode kann nur dort angewandt werden, wo der Stromkreis, der vom Ankerstrom durchflossen wird, noch weitere um mindestens eine Größenordnung höhere Ohmsche Widerstände enthält. Die Ungenauigkeit der Messung des Ankerkreiswiderstandes wirkt sich dann auf die Genauigkeit des gesamten Ohmschen Widerstandes dieses Stromkreises nur wenig aus.

2.12 Methoden zur Bestimmung der Induktivitäten

Die Messung der Induktivität der Erregerwicklung L_E wird nach der auf Bild 3 angegebenen Schaltung durchgeführt. Sie beruht auf einem Vergleich des Scheinwiderstandes der zu untersuchenden Wicklung mit einem Ohmschen Widerstand. Der Ohmsche Widerstand wird nach jedem Abgleich mit einer der unter 2.11 angegebenen Meßmethoden bestimmt. In dieser Schaltung wird die Vormagnetisierung berücksichtigt.

Der Vergleich wird so durchgeführt, daß bei einem gewünschten Gleichstrom I durch den Transformator

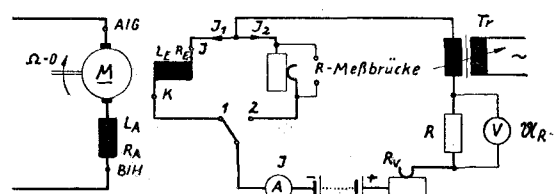


Bild 3

mator Tr eine kleine Wechselspannung in den Kreis eingeführt wird. In Schalterstellung 1 weist dann das Voltmeter U_R , das nur die Wechselspannungskomponente des Spannungsabfalles über R anzeigt, einen entsprechenden Ausschlag auf. Darauf wird in Schalterstellung 2 der Vergleichswiderstand R_S so eingestellt, daß U_R wieder den gleichen Ausschlag wie in Schalterstellung 1 zeigt.

Wenn U_R in beiden Schalterstellungen gleich ist, dann ist der Scheinwiderstand der zu untersuchenden Spule gleich dem Ohmschen Vergleichswiderstand. Bei abgeglicherer Schaltung gilt für die Erregerinduktivität folgende Bestimmungsgleichung:

$$L_E = \frac{1}{\nu} \sqrt{R_S^2 - R_E^2}. \quad (24)$$

Darin ist ν die Kreisfrequenz der überlagerten Wechselspannung und R_E der Wirkanteil des Scheinwiderstandes der Erregerwicklung. R_E ist mit guter Annäherung gleich dem Ohmschen Widerstand der Erregerwicklung.

Es ist zu bemerken, daß die Gleichung (24) nur dann exakt gilt, wenn in beiden Schalterstellungen die Kennwerte der verwendeten Bauelemente gleich sind. Das trifft bei der Induktivität der Sekundärwicklung des Transformators nur angenähert zu. Bezeichnet man diese in Schalterstellung 1 mit L_{T1} und in Schalterstellung 2 mit L_{T2} , so gilt $L_{T1} < L_{T2}$. Das liegt daran, daß bei abgeglicherer Schaltung $I_1 > I_2$ ist. Die Gleichheit der Ströme ($I_1 = I_2$ — und damit die Gleichheit der Induktivitäten — $L_{T1} = L_{T2}$) läßt sich nur mit erheblichem Aufwand erreichen. Der hochohmige Widerstand R_S müßte für den größten gewünschten Gleichstrom zur Vormagnetisierung ausgelegt sein. Durch diesen Einfluß wird eine zu große Induktivität der Erregerwicklung ermittelt.

Es ist weiterhin zu beachten, daß der dem Gleichstrom überlagerte Wechselstrom eine sehr kleine Amplitude hat. Damit soll erreicht werden, daß die Verzerrung des Wechselstromes infolge der nicht-linearen Magnetisierungskennlinie möglichst klein bleibt.

Die Messung kann bei $\Omega = 0$ durchgeführt werden. Bei laufender Maschine besteht die Möglichkeit, den Einfluß des Ankerquerrfeldes und der Kommutierungseffekte auf die Induktivität der Erregerwicklung zu untersuchen.

Die Ankerinduktivität L_A wird nicht nur vom Ankerstrom beeinflusst, sondern auch vom Erregerstrom. Bei $I_E = 0$ wird sich ein L_A einstellen, das dem ungesättigten Zustand des Ankerkreises entspricht. Bei $I_E > 0$ ist der magnetische Ankerkreis ent-

sprechend vormagnetisiert und L_A kleiner als im ersteren Zustand.

Zur Messung von L_A unter Berücksichtigung der Vormagnetisierung eignet sich die von *Sounders* [2] angegebene Schaltung (Bild 4). Sie kann bei $\Omega \geq 0$ durchgeführt werden.

Unter der Annahme, daß $\Delta \mathfrak{S} = 0$ ist, läßt sich aus Bild 4 die Bestimmungsgleichung für L_A ableiten. Sie lautet:

$$L_A = \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{|U_{ges}|^2}{|U_R|^2} - R_A^2}. \quad (25)$$

Man erkennt, daß die sich bei den verschiedenen Ankerströmen einstellenden Induktivitätswerte mittels Wechselstrom-Wechselspannungs-Messung ermittelt werden. Auch hier ist die überlagerte Wechselstromamplitude möglichst klein zu halten.

Das Voltmeter U_{ges} darf nur den Wechselspannungsabfall über dem Meßobjekt anzeigen. Die Forderung nach $\Delta \mathfrak{S} = 0$ wird annähernd erfüllt durch $L_S \gg L_A$. Diese Forderung bedingt einen hohen Aufwand in der Ausführung der Blockierungsdrössel D_B . Diese Methode kann deshalb nur bei sehr kleinen Maschinen oder bei der Untersuchung großer Serien angewandt werden, wo sich die Anschaffung einer solchen Drössel lohnt.

Die Erfahrung zeigt, daß $L_A = f(I_A)$ bei den Gleichstrommaschinen üblicher Bauart nahezu konstant ist. Deshalb kann man auf die den Schaltungsaufwand bestimmende Vormagnetisierung durch I_A verzichten und laut *Snively* und *Robinson* [3] eine einfache Wechselstrom-Wechselspannungs-Messung bei Stillstand der Maschine durchführen. Es wird vorgeschlagen, zur Messung Wechselströme zu verwenden, die die Hälfte des Ankernennstromes nicht überschreiten. Die Induktivität wird nach folgender Bestimmungsgleichung ermittelt:

$$L_A = \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{|U|^2}{|\mathfrak{S}|^2} - R_A^2}. \quad (26)$$

\mathfrak{S} ist der bei der angelegten Wechselspannung U mit der Kreisfrequenz ν fließende Wechselstrom.

Um den störenden Einfluß des Bürstenübergangswiderstandes zu beseitigen, sind die Bürsten während der Messung abzuheben und durch Metallverbindungen zu ersetzen. Dabei ist zu beachten, daß diese Verbindungen ebenso viele Kommutatorlamellenkurzschließen wie im Normalfall die Kohlebürsten.

In Gleichung (26) ist der Widerstand R_A in den meisten Fällen so klein, daß er vernachlässigt werden kann.

2.13 Methoden zur Bestimmung des Trägheitsmomentes Θ des Ankers

Zur Bestimmung des Trägheitsmomentes kann der Auslaufversuch verwendet werden, wie er von *Nürnberg* [1] ausführlich beschrieben wurde (vgl. S. 33...37 daselbst).

Die Methode nach *Claußnitzer* [4] liefert ebenfalls gute Ergebnisse.

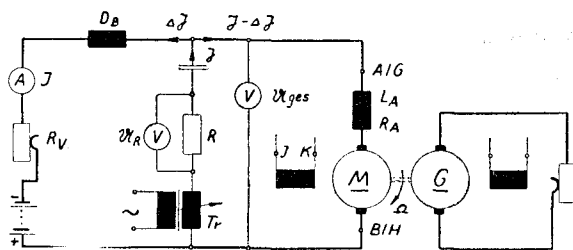


Bild 4

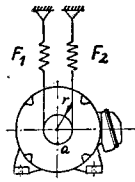


Bild 5

Gemäß Bild 5 wird auf ein freies Wellenende der zu untersuchenden Maschine eine Scheibe mit dem Radius r aufgesetzt. Um diese Scheibe wird ein nicht dehnbares Band gelegt und nach Möglichkeit im Punkt a befestigt. Die freien Enden dieses Bandes werden so mit den geeichten Zugfedern F_1 und F_2 verbunden, daß diese eine Vorspannung erhalten. Sie muß so groß sein, daß sich die Federwindungen nicht berühren, wenn das System um seine Ruhelage pendelt. Der Pendelwinkel muß ferner kleiner als π bleiben, damit sich das Band im Punkt a nicht von der Scheibe abhebt. Um bei Maschinen mit Bürsten die Bürstenreibung während der Messung auszuschalten, sind dieselben abzuheben. Wenn diese Voraussetzungen erfüllt sind, dann läßt sich das Trägheitsmoment des Systems nach folgender Gleichung berechnen:

$$\Theta = \frac{\tau^2}{4\pi^2} \left(1 - \frac{\lambda^2}{\pi^2} \right) r^2 (F_1 + F_2). \quad (27)$$

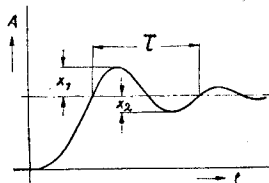


Bild 6

Darin ist τ die Dauer einer Schwingung des angestoßenen Systems und r der Radius der Scheibe (Bild 6). F_1 und F_2 sind die Federkonstanten der Zugfedern. λ stellt den natürlichen Logarithmus des Verhältnisses der Amplituden zweier aufeinanderfolgender Schwingungen dar:

$$\lambda = \ln \frac{X_1}{X_2}.$$

Damit wird die Dämpfung des Systems berücksichtigt. Sie kann bei auf Rollen- oder Kugellagern laufenden Maschinen fast immer vernachlässigt werden. Es sind lineare Zugfedern zu verwenden, deren Federkonstante eine möglichst große Schwingungsdauer zuläßt. Damit wird der Fehler bei der Messung von τ relativ klein.

Die abschließend zu erörternde Methode des bifilaren Pendels kann nur auf relativ kleine Motoranker angewandt werden. Sie hat den Nachteil, daß der Anker ausgebaut werden muß und eine komplizierte Meßvorrichtung erforderlich ist. Der Vorteil dieser Methode besteht in ihrer großen Genauigkeit. Gemäß Bild 7 wird der Motoranker bifilar aufgehängt und in Schwingungen versetzt. Aus der Schwingungsdauer und den Abmessungen der Anordnung läßt sich das

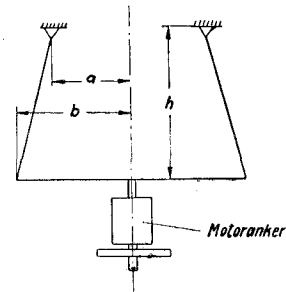


Bild 7

Trägheitsmoment des Motorankers bestimmen. Die Bestimmungsgleichung lautet:

$$\Theta = \frac{\tau^2}{4\pi^2} \left(Q \frac{a \cdot b}{h - h'} + D' \right). \quad (28)$$

Darin bedeuten τ die Dauer einer Schwingung und Q das Gewicht des Motorankers. Das Gewicht des Tragbalkens und der Aufhängedrähte wird vernachlässigt. a , b und h sind die Abmessungen der Pendelanordnung laut Bild 7.

D' ist eine Korrektionsgröße, die die Torsionselastizität der Aufhängedrähte berücksichtigt. Sie läßt sich nach der Gleichung

$$D' = \frac{2\pi}{5} E \frac{d^4}{h} \quad (28a)$$

berechnen. Darin ist E der Elastizitätsmodul und d der Durchmesser der Aufhängedrähte.

h' ist eine weitere Korrektionsgröße, die die Steifheit der Aufhängedrähte berücksichtigt. Sie läßt sich nach der Gleichung

$$h' = d^2 \frac{2\pi E}{Q} \quad (28b)$$

berechnen. Die in Gleichung (28b) enthaltenen Größen sind bekannt.

Die Genauigkeit dieser Methode wird wesentlich durch die Genauigkeit der Schwingungsdauermessung und der Bestimmung des Gewichts des Motorankers bestimmt. Auf die Ermittlung beider Größen ist deshalb besondere Sorgfalt zu verwenden.

Die angeführten Meßmethoden wurden in der Diplomarbeit des Verfassers experimentell untersucht. Die aus den Meßergebnissen berechneten Zeitkonstanten zeigten eine befriedigende Übereinstimmung mit den Zeitkonstanten, die aus den experimentell aufgenommenen Übergangsfunktionen der betreffenden Maschine ermittelt wurden.

Literatur

- [1] Nürnberg, Prüfung elektrischer Maschinen. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1955, S. 194.
- [2] Saunders, Measurement of D-C-Machine Parameters. AIEE-Transactions 1951, Volume 70, Part II.
- [3] Snively and Robinson, Measurement and calculation of D-C-Armature circuit. AIEE-Transactions 1950, Volume 69, Part II, p. 1223.
- [4] Claußnitzer, Bestimmung des Trägheitsmoments von Rotationskörpern. ETZ 1950, S. 551.

(Eingang: 31. 5. 1960)

Verfasser:

Dipl.-Ing. Wolfgang Gens, wissenschaftlicher Assistent am Institut für elektromotorische Antriebe und Bahnen der HfE Ilmenau.